Chapitre 8 : Les mesures

par Pierre Cornélis, ON7PC rue J. Ballings, 88 1140 Bruxelles

Un radio amateur est un expérimentateur, et par conséquent il doit faire des mesures sur les montages qu'il effectue. Ce chapitre aura pour but d'étudier les principaux appareils de mesure dont le radio amateur dispose.

8.1. Mesures de tensions et de courants continus (DC)

8.1.1. Les indicateurs de courant

Pour effectuer une mesure de courant (ou de tension) on a besoin d'un appareil "avec une aiguille" qui bouge et qui donne une certaine lecture sur un cadran gradué en fonction du courant qui le traverse, on appelle cela un indicateur de courant. Les indicateurs de courant peuvent faire appel à différents principes:

8.1.1.1. Indicateur à noyau de fer mobile

Cet indicateur est constitué d'une bobine dans laquelle circule le courant à mesurer. Ce courant engendre un champ magnétique à l'intérieur de la bobine. Si nous plaçons à l'intérieur de la bobine un noyau en fer doux, celui-ci va être attirer et plonger dans la bobine, nous avons ainsi des appareils à fer plongeant. Mais on peut aussi mettre dans la bobine deux plaquettes de fer doux, celles-ci vont être magnétisées et vont se repousser. Ainsi, l'une des plaquettes est mobile autour d'un axe et entraîne une aiguille à se déplacer le long d'un cadran, l'autre plaquette est fixe.

Si on inverse le sens du courant les plaquettes se repousseront toujours de la même façon. Ces appareils conviennent donc aussi bien pour le courant continu que pour le courant alternatif industriel (50 Hz)

8.1.1.2. Indicateur à bobine mobile

Cet indicateur encore appelé galvanomètre d'Arsonval ou simplement galvanomètre comprend essentiellement une bobine de fil très fin enroulé sur un support en métal très léger.

Cet enroulement en forme de cadre peut pivoter autour d'un axe d'où un autre nom appareil à cadre mobile. Les connexions vers le circuit extérieur se font par un ressort en spirale de chaque côté du cadre. Une aiguille solidaire de la bobine mobile peut se déplacer en face d'une échelle. Le tout est suspendu dans un champ magnétique d'un fort aimant permanent.

Lorsqu'un courant circule dans la bobine, il donne naissance à un champ magnétique qui réagit avec le champ de l'aimant et la bobine pivote autour de son axe.

Lorsque le courant est inversé, la déviation se fait dans l'autre sens. C'est pourquoi ce type d'indicateur ne peut convenir que pour des mesures en courant continu !

Au repos (sans courant), les deux ressorts s'équilibrent et l'aiguille est sur l'indication "0". S'il n'en était pas ainsi, une vis de réglage permet d'augmenter ou de diminuer la force de tension d'un des deux ressorts.

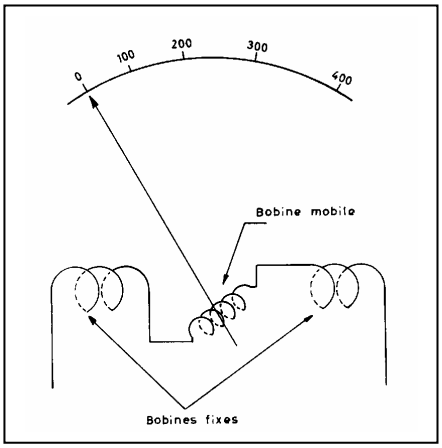
Si on applique un courant pulsé (par exemple des demi sinusoïdes) cet appareil déviera à une valeur égale à la valeur moyenne du courant. Pour certaines applications il s'avère nécessaire de pouvoir mesurer un

courant tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, par exemple pour établir l'équilibre d'un pont de mesure (un pont Wheatstone par exemple que nous verrons plus loin) ou visualiser le "zéro discri" et s'assurer qu'en FM on est bien accordé sur la fréquence centrale,... dans ce cas là, le galvanomètre peut-être construit de telle façon que le zéro soit au milieu de l'échelle.

L'appareil à cadre mobile est certainement l'appareil le plus utilisé dans les multimètres (à aiguille) employé pour dans les laboratoires, par les dépanneurs radio et par les radioamateurs.

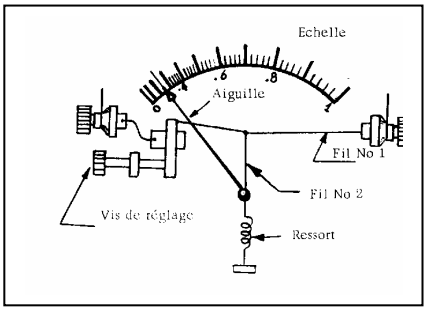
8.1.1.3. Indicateur électrodynamique

Dans cet indicateur il y a deux bobines, l'une est fixe et l'autre mobile. La déviation est proportionnelle au produit du courant qui passe dans la bobine fixe par le courant qui passe dans la bobine mobile. Ce type d'appareil est essentiellement utilisé comme Wattmètre dans le domaine de l'électrotechnique ("courant fort").



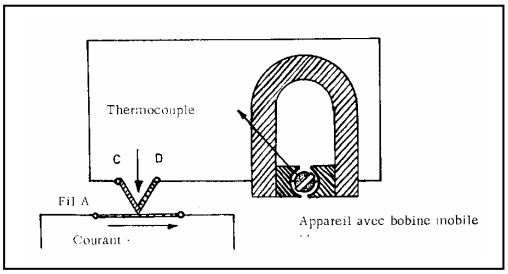
8.1.1.4. Indicateurs à fil chaud

La chaleur développée par le passage du courant dans un fil peut le dilater. Cette dilatation peut servir à faire dévier une aiguille sur un cadran, on utilise pour cela un système mécanique avec une petite poulie et un ressort. Puisque la chaleur est proportionnelle à I^2, ce type d'appareil à une échelle quadratique.



8.1.1.5. Indicateur à thermocouple

Ce type d'appareil est essentiellement utilisé en RF. Le thermocouple est traversé par le courant haute fréquence, il s'échauffe et produit une tension continue qui est mesurée.



8.1.2. Le voltmètre

Le voltmètre est un appareil qui sert à mesurer les tensions. En général un voltmètre est constitué d'un galvanomètre à cadre mobile (microampèremètre) et d'une résistance connectée en série, appelée résistance additionnelle.

Le voltmètre possède ainsi un calibre c.-à-d. une valeur de tension maximum lorsque l'aiguille dévie à fond (encore appelé FSD pour Full Scale Deviation). On parle ainsi d'un voltmètre qui a un calibre de 15 V ce qui veut dire qu'à fond d'échelle il pourra mesure une tension de 15 V. Si on applique une tension supérieure, on risque de détruire l'appareil de mesure. On peut avoir plusieurs calibres à l'aide d'un combinateur où à l'aide de plusieurs bornes et commuter plusieurs résistances additionnelles.

Etant donné qu'il faut mesurer la tension aux bornes de quelque chose (aux bornes d'une batterie, d'une alimentation, aux bornes d'une résistance dans un circuit,... le voltmètre se branche en parallèle sur ces bornes.

Application : Soit un galvanomètre de 20 µA dont la résistance interne est de 4 kΩ, quelle est la résistance additionnelle pour réaliser un voltmètre qui indique 100 V fond d'échelle ?

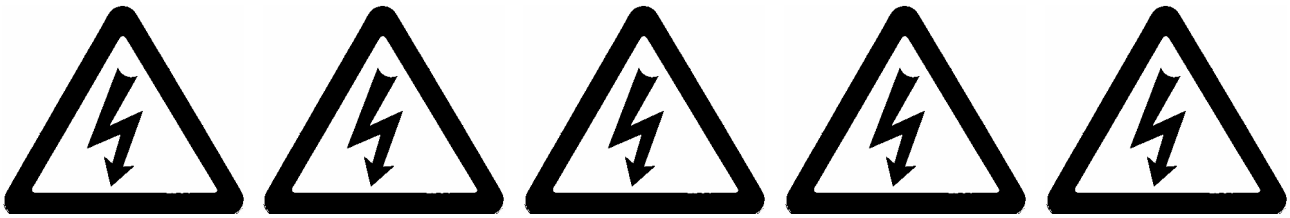
Réponse : La valeur de la résistance totale sera de $R = 100 / 20\ 10^{-6} = 5$ MΩ, de cette valeur il faut retirer les 4 kΩ de la résistance interne du galvanomètre, la résistance additionnelle est donc de 5000 kΩ - 4 kΩ = 4996 kΩ. Si, dans ce cas précis, on mettait une résistance de 5 MΩ, on ne ferait qu'une erreur de 0,1% et une telle erreur est tout à fait négligeable (moins de 1/10eme de graduation si on suppose que le cadran est divisé en 100 !).

Un voltmètre possède donc une certaine résistance interne, et quoi que celle-ci puisse être grande, elle donne lieu à un petit courant (celui qui fait dévier le cadre mobile...) et donc à une erreur de mesure. Dans la majorité des cas on s'arrange pour que cette résistance interne soit grande et l'erreur de mesure sera donc très faible.

Pour un voltmètre donné le rapport résistance interne/calibre est une constante. Cette constante s'exprime en kΩ/V. L'inverse de cette valeur n'est rien d'autre que la valeur du courant qui produit une déviation fond d'échelle. De facto un appareil à 20 kΩ/V et un appareil dont le galvanomètre dévie à pleine échelle pour un courant de 50 µA en effet $1/(20\ 10^{3}) = 50\ 10^{-6}$ c.-à-d. 50 µA !

- les appareils les plus couramment utilisés dans les laboratoires, par les dépanneurs, et par les radioamateurs sont à 20 kΩ/V,
- les appareils pour électriciens courant fort sont entre 1 et 5 kΩ/V, ce sont des appareils plus robustes que l'on peut sans craintes emporter sur un chantier, jeter dans sa trousse à outils, …
- toutefois dans les laboratoires on peut avoir besoin d'appareils plus sensible, on trouve donc aussi des appareils à 50 kΩ/V et à 100 kΩ/V, mais étant donné leur fragilité, il est déconseillé de les mettre dans la trousse à outils d'un dépanneur et a fortiori de les utiliser dans des applications "courant fort".

Pour la mesure de très haute tension (>1 kV) le probe haute tension ("la pointe de test") doit garantir une isolation suffisante pour la protection de l'opérateur, c'est pourquoi on lui donne une forme spéciale qui évoque les isolateurs H.T. sur les pylônes. La résistance additionnelle est généralement incluse dans le probe de mesure.



ATTENTION DANGER ATTENTION DANGER ATTENTION DANGER

PRECAUTIONS A PRENDRE POUR LA MESURE DES HAUTES TENSIONS

Les hautes tensions que le radioamateur rencontre se trouvent principalement dans les amplificateurs linéaires à tubes. On y trouve des tensions de plusieurs milliers de Volts sous des courants pouvant atteindre l'Ampère. Comme nous le verrons dans le chapitre sur les dangers électriques DE TELLES TENSIONS, AVEC DE TELS DEBITS, SONT FATALES !

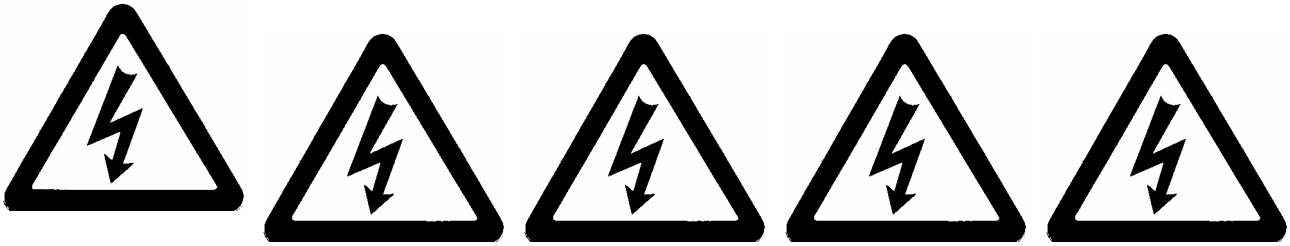
Donc si vous voulez contrôler ou mesurer ces tensions, réfléchissez bien si la mesure est utile, s'il n'y a pas moyen de faire autrement.

Et si vraiment il faut le faire, travaillez de la façon suivante :

- soyez sûr que le châssis de l'appareil (par exemple l'amplificateur linéaire) est bien relié à la terre, non seulement par le cordon secteur, mais aussi et surtout par la vis "GROUND" sur votre appareil
- branchez le voltmètre sans alimenter le circuit,
- mettez une main dans le dos et enclenchez le secteur,
- mettez l'autre main dans le dos et lisez la tension,
- coupez le secteur et attendez que les condensateurs se déchargent,
- EN AUCUN CAS vous n'essayerez de touchez aux fils, de retournez l'appareil pour voir ce qui se passe de l'autre côté, ou de pousser sur un composant pour voir ce qui se passe … ne le faites même pas avec un tournevis isolé !!

Sachez que si par mégarde vous touchez des pièces sous une telle tension, C'EST LA MORT !
Et vous ne serez plus là pour raconter au radioclub comment cela s'est passé !

Dans les téléviseurs il y a aussi des hautes tensions, pouvant même atteindre 25 kilovolts, mais le courant débité est limité par la résistance interne du circuit. Dans ce cas le choc électrique est important, l'arc que l'on peut "tirer" est impressionnant, mais du fait que le courant est limité, les séquelles sont beaucoup moins importantes que dans le cas ci-dessus.



8.1.3. L'ampèremètre

Un ampèremètre sert à la mesure du courant. En général un ampèremètre est constitué d'un galvanomètre (microampèremètre) et d'une résistance connectée en parallèle et appelée shunt. Soit le schéma de la figure ...

$I_{tot} = I_{galvanomètre} + I_{shunt}$ et

par conséquent $R_{shunt} = (R_{galvanomètre}\ I_{galvanomètre}) / (I_{total} - I_{galvanomètre})$

Application : On a un appareil qui mesure 1 mA fond d'échelle et dont la résistance interne est de 27 Ω , calculez le shunt pour 100 mA ?
Réponse : $R_{shunt} = (R_{galvanomètre}\ I_{galvanomètre}) / (I_{total} - I_{galvanomètre}) = 27 \times 1\ 10^{-3} : (100 - 1)\ 10^{-3} = 0{,}273\ \Omega$

Comme tout le courant doit traverser l'ampèremètre celui-ci est toujours mis en série dans le circuit à mesurer, on devra donc "couper" le circuit pour pouvoir mettre l'ampèremètre en série et pour pouvoir faire la mesure.

Ici aussi on peut avoir plusieurs calibres à l'aide d'un combinateur. Lorsqu'on fait un appareil avec plusieurs shunts la commutation d'un shunt à l'autre pose un problème, en effet durant ce temps TOUT le courant passe dans le galvanomètre. Il va s'en dire que le fin fil du cadre mobile va vite être grillé. Pour éviter cela il faut utiliser que le commutateur mettre deux contacts successifs en court-circuit durant le temps de commutation, mais on peut aussi utiliser un shunt universel.

8.1.4. Mesure de résistances

La façon la plus classique de mesurer une résistance est l'emploi d'un pont de Wheatstone. Dans le pont une branche comporte la résistance inconnue R_x. A l'équilibre du pont

Mais généralement on a besoin d'une façon plus rapide (et peut-être moins précise) pour mesure les résistances. On distingue essentiellement deux montages :

Ohmmètre série : On court-circuite les pointe de mesure et on règle pour que l'ohmmètre dévie à fond

Ohmmètre shunt :

8.2. Mesures de tensions et de courants alternatifs (AC)

Pour mesure des courants alternatifs industriels (50 Hz) on peut utiliser des appareils à noyau de fer mobile. ces appareils sont très solides et très robustes aux chocs, leur résistance interne est grande mais pas très grande, ils conviennent donc pour le domaine de l'électrotechnique ("courant fort").

Mais on peut aussi utiliser un galvanomètre et une diode afin de redresser le courant. Si on utilise un appareil à bobine mobile, la déviation sera proportionnelle au courant moyen, donc

- pour un redressement simple alternance on a $I_{moy} = I_{max} \times 0,318$
- pour un redressement à deux alternances (pont redresseur) on a $I_{moy} = I_{max} \times 0,637$

8. 3. Les contrôleurs universels ou multimètres

Un **multimètre** est un appareil de mesure qui combine à la fois un voltmètre, un ampèremètre et un ohmmètre. La commutation de fonction se fait soit par un commutateur central, soit en enfonçant les fiches de test dans des positions ad-hoc, l'enfoncement de la fiche actionne alors un contact auxiliaire qui réalise les commutations internes. C'est l'appareil de mesure qui est un "must" dans la boite à outils du technicien ou du radioamateur !

Une **variante est le multimètre** digital. La lecture se fait alors sur des afficheurs numériques. La plupart des multimètres offrent aussi des possibilités de mesures de condensateurs, de diodes et de transistors.

Multimètre à "aiguille" ou à affichage numérique ?

- un multimètre à aiguille est plus facile lors de la recherche d'un "maximum", par exemple le réglage de la puissance d'un émetteur ou l'alignement d'un récepteur
- un multimètre digital est plus précis, il est plus facile à lire aussi (pas de conversion d'échelle, pas d'erreur de lecture !)

Attention : Il existe des cas où un appareil numérique peut donner une indication COMPLETEMENT erronée ! Si on a par exemple on mesure la tension sur un câble assez long (ouvert et isolé bien sûr) qui se trouve près d'une ligne d'alimentation électrique (220V AC), alors, par induction on risque de mesurer des tensions importantes (peut-être 100 V ou plus). On peut mettre une lampe d'éclairage sur la ligne celle-ci ne s'éclairera pas. Pourquoi ? Tout simplement à cause de l'induction sur le câble et du fait que l'impédance de charge du voltmètre est très grande (10 MΩ ou plus) on mesure une tension induite.

8. 4. Les erreurs de mesure

la précision de construction : en général la précision est de l'ordre de 2 %
tolérance sur la lecture
erreur de lecture : erreur de parallaxe, les appareils à miroirs réduisent cette erreur

8.4.1. Influence de la fréquence

Les appareils de mesures (voltmètre et ampèremètre) pour le courant alternatif sont donc des appareils de mesures pour le courant continu auquel on a ajouté un pont redresseur. Ils sont fondamentalement construit pour les mesures dans des circuits à fréquence industrielle (50 Hz), mais ils peuvent être utilisés jusque 5 kHz voire 20 kHz. Ces appareils sont gradués en termes de valeur efficace.

8.4.2. Influence de la forme d'onde

Comme nous avons déjà vu au 1er paragraphe, les appareils réagissent différemment si on leur applique un courant continu ou un courant alternatif. Dans un cas l'appareil répond à une valeur moyenne, dans l'autre à une valeur efficace. En fonction de cette réponse et de la forme de l'onde les déviations seront donc différentes :

- les appareils à noyau de fer mobile dévient proportionnellement à la valeur efficace
- les appareils à cadre mobile dévient proportionnellement à la valeur moyenne
- les appareils électrodynamiques
- les appareils à thermocouple

8.4.3. Influence de la résistance interne des appareils de mesures

Il faut remarquer que lorsqu'on mesure une tension aux bornes d'un élément d'un circuit quelconque, on shunte cet élément par le circuit de mesure. Pour que la mesure soit aussi précise que possible, la mise en parallèle ne peut affecter la valeur de la tension aux bornes de l'élément où on fait la mesure. La résistance interne du voltmètre doit donc être très grande. En électronique et en radio, on peut e contenter d'appareils ayant 20 à 50 kΩ/V , tandis qu'en électrotechnique ("courant fort) on peut utiliser des appareils ayant 1 à 5 kΩ/V

8.5. Mesure de la puissance en DC, en AC et en radiofréquence - puissance moyenne et puissance de crête d'enveloppe

En courant continu on mesure la puissance en branchant un ampèremètre en série et un voltmètre en parallèle et on fait simplement le produit du courant mesuré par la tension mesurée. On peut aussi utiliser un appareil électrodynamique, dans une des bobines on fait passer un courant proportionnel à la tension, dans l'autre bobine un courant proportionnel au courant dans le circuit. L'indication est proportionnelle au produit de la tension et du courant, donc de la puissance en courant continu.

En courant alternatif on utilise plutôt un appareil électrodynamique, une des bobines est parcourue par le courant, et sur l'autre on applique la tension à mesurer. Comme la déviation est proportionnelle au courant dans la bobine fixe par le courant dans la bobine mobile, la déviation est donc proportionnelle à la puissance. Un tel Wattmètre possède 2 ou 3 gammes de tensions et 5 ou 6 gammes de courants.

Mais ce qui nous intéresse plus ce sont les wattmètres pour la mesure des puissances HF. Ces wattmètres ne sont pas des vrais wattmètres comme ceux qu'on utilise pour le courant industriel (50 Hz). Ce sont des voltmètres gradués en Watts compte tenu que le système où on mesure cette puissance est supposé être un système à 50.Ω

La précision et la gamme de fréquence dépendent du détecteur du Wattmètre.

Un type particulier de wattmètre est le Wattmètre-réflectomètre qui permet également de mesurer le TOS sur la ligne. Ce wattmètre comporte un coupleur directionnel

vraie puissance incidente = puissance incidente lue - puissance réfléchie lue

8.6. Mesure du ROS

8.7. Mesures de fréquence

8.7.1. Générateur de marquage

Les récepteurs peuvent être équipés de ce type de générateur de marquage. Il s'agit en fait d'un générateur à quartz produisant des battements tous les 10 kHz ou tous les 100 kHz. Comme la référence part d'un quartz on appelle cela aussi des **calibreurs à quartz** et la précision est bien entendu celle du quartz. Grâce à ce calibreur on peut étalonner les récepteurs.

Ces calibrateurs étaient très efficaces à une époque où les émetteurs-récepteurs utilisaient des oscillateurs libres comme VFO, mais actuellement les appareils modernes utilisent la synthèse de fréquence à partir d'une référence au moins aussi précise que celle du calibreur. Le calibreur à quartz est dés lors devenu désuet.

Dans les émetteurs-récepteurs modernes, la précision est de l'ordre de 10 ppm donc l'erreur maximum est de 300 Hz à 30 MHz! et pour ceux qui veulent une meilleure précision encore il est parfois possible d'avoir un TXCO en option, dans ce cas la précision est de l'ordre de 0,5 ppm, donc une erreur maximum de 15 Hz à 30 MHz!

Pour un appareil fonctionnant dans la bande 23 cm (1240 -1300 MHz) une précision de 10 ppm conduit toutefois à une erreur de 13 kHz ! ce qui n'est pas tolérable ni en SSB, ni en FM. C'est pourquoi, plus la fréquence augmente, plus il faudra faire attention à la stabilité.

Rappel : 1 ppm = 1 **p**artie **p**ar **m**illion c'est donc 1 pour 1 000 000

8.7.2. Stations de références

Une autre source très intéressante sont les stations de références. Un certain nombre d'organismes ont décidé de mettre en service des émetteurs radio sur des fréquences extrêmement précises provenant de référence atomique.

- WWV à Fort Collins au Colorado (Etats-Unis) qui émet sur 1,5 , 5 , 10, 15 et 20 MHz
- WWVH à Kekahu à Hawaii
- DCF 77 près de Francfort en Allemagne, qui émet sur 77,5 kHz et qui fournit en outre des signaux horaires. Cet émetteur est probablement le plus connu, il couvre une zone d'environ 1500 km autour de Francfort.

8.7.3. Fréquencemètre à absorption

Les deux méthodes expliquées ci-dessus permettent essentiellement de vérifier, par battement, si la fréquence affichée sur un récepteur est correcte. Toutefois le problème pratique peut être différent : on peut disposer d'un signal et vouloir mesurer sa fréquence.

Un fréquencemètre à absorption n'est rien d'autre qu'un circuit LC que l'on peut accorder, muni d'un appareil de détection du maximum et d'une échelle pour la lecture de la fréquence. Les fréquencemètres à absorption s'utilisent dans la gamme de fréquence de 100 kHz à 200 MHz ou parfois dans les micro-ondes.

La précision est de l'ordre de 5% et ne suffit pas pour la plupart des applications

8.7.4. Fréquencemètre digital

Un fréquencemètre digital affiche sous forme numérique la fréquence du signal. Dans un fréquencemètre digital, on compte le nombre de cycles qu'il y a pendant un intervalle de temps. Si on compte le nombre de cycle en 1 seconde, on aura par définition la fréquence en Hertz.

On part généralement d'une référence à 10 MHz qui fournit les signaux pour l'intervalle de temps et pour les différentes impulsions nécessaires à la mise en mémoire du résultat et à l'affichage. dans les fréquencemètres bon marché et précis à 10^{-5} à 10^{-6} cette référence est un quartz avec une faible dérive . Pour une meilleure précision (10^{-7} à 10^{-8}) on thermostatise le quartz. Pour une meilleure précision encore on synchronise le 10 MHz avec une source radio (DCF 77 ...).

Application: Un fréquencemètre ordinaire avec une précision de $5\ 10^{-5}$ indique 430,067897 MHz. Quelle est la fréquence exacte ?
Solution : la fréquence exacte est située entre 430,067897 MHz - (430 MHz x $5\ 10^{-5}$) et 430,067897 MHz + (430 MHz x $5\ 10^{-5}$) soit 430 067 897 Hz $\pm$ 21500 Hz soit 430,046397 et 430,089397 MHz. Conclusion sur un fréquencemètre avec une précision "ordinaire" il n'est pas nécessaire d'avoir beaucoup de digits et on en notant les résultats, dans un rapport par exemple, on se limitera aussi aux chiffres significatifs. Par exemple, si la précision est à 10^{-n} ne donnez que (n+1) chiffres.

Un fréquencemètre digital est donc caractérisé par sa précision, celle-ci dépend aussi de la température. Mais la précision peut aussi être influencée par le temps. En anglais on parle alors d' "**aging**".

Si le fréquencemètre utilise des circuits TTL, on pourra mesurer au maximum des fréquences de l'ordre de 50 MHz car c'est la fréquence limite de comptage des circuits TTL. Pour des fréquences supérieures il faudra utiliser des circuits ECL et dans ce cas la limite sera de l'ordre de 500 MHz. S'il faut mesurer des fréquences comprises entre 50 MHz et 3 GHz (3000 MHz) on pourra utiliser un **prédiviseur** ("**prescaler**"), celui-ci est réalisé en technologie ECL, il divise la fréquence par 10 ou par 100, puis envoie le signal vers un fréquencemètre ordinaire. L'affichage doit évidemment tenir compte du facteur de prédivision. Ces fréquencemètres sont appelés des fréquencemètres directs. la technologie VLSI permet de faire un fréquencemètre complet sur un chip, seul l'afficheur est extérieur.

En plus de la fréquence maximum qu'on peut compter, un fréquencemètre est caractérisé par le signal minimum qu'il faut lui appliquer pour qu'il puisse compter sans erreur, c'est la **sensibilité du compteur**, et par la tension maximum qu'on peut lui appliquer sans endommager le circuit d'entrée ("burn-out").

Pour des fréquences allant de 1GHz à 40 GHz plus, on utilise des **fréquencemètres hétérodynes** : On part d'un oscillateur à 500 MHz par exemple qui produit une série d'harmoniques. On mélange le signal entrant avec le signal à 1 GHz. Si le mélange produit une fréquence entre 0 et 500 MHz, on applique ce signal au fréquencemètre de base (qui monte jusqu'à 500 MHz) et on ajoute 1000 MHz sur l'afficheur. Si le mélange ne produit pas de fréquence entre 0 et 500 MHz, on incrémente l'oscillateur local et on essaie à nouveau avec 1500 MHz, et ainsi de suite... Cette manipulation peut se faire manuellement ou automatiquement ("auto heterodyne frequency meter").

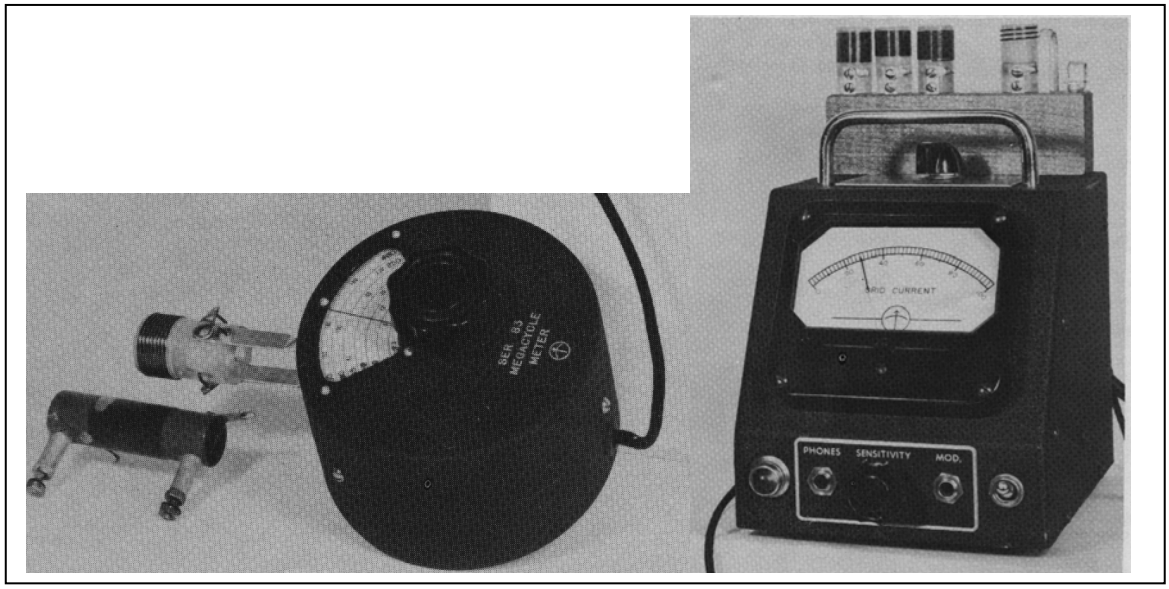
Pour des fréquences basses allant des fréquences audio jusqu'à quelques millihetrz, on emploie une technique différente. A l'aide d'une boucle à verrouillage de phase (PLL) on produit une fréquence 1000 x supérieure par exemple. Ainsi sur un temps de mesure de 1 seconde on pourra mesurer jusqu'au millihertz près.

8.8. Mesure de fréquences de résonances et "grid-dip"

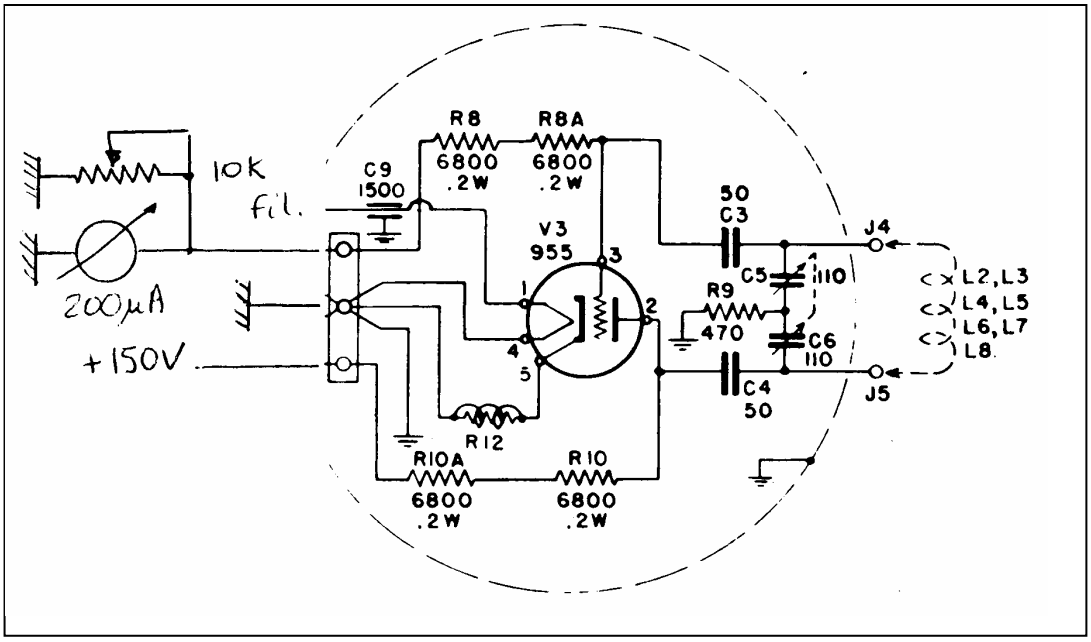
8.8.1. Généralités

Pour mesurer les fréquences de résonances des circuits oscillants, on utilise un **grid dip**, c.-à-d. un oscillateur utilisant un tube et un condensateur variable, pour que cet appareil puisse osciller, il faut encore plusieurs bobines, enfichables et donc interchangeable.

Le grid-dip le plus populaire a certainement été le fameux "Model 59" de la firme Measurements. La gamme couverte s'étend de 2,2 MHz à 420 MHz. L'appareil comporte un boîtier avec une alimentation et un microampèremètre et une boîte ronde contenant l'oscillateur, le condensateur d'accord et l'échelle graduée en fréquence. Plusieurs bobines peuvent être enfichées sur l'oscillateur, chacune couvre une plage de fréquences dans un rapport de 1 à 3 environ.

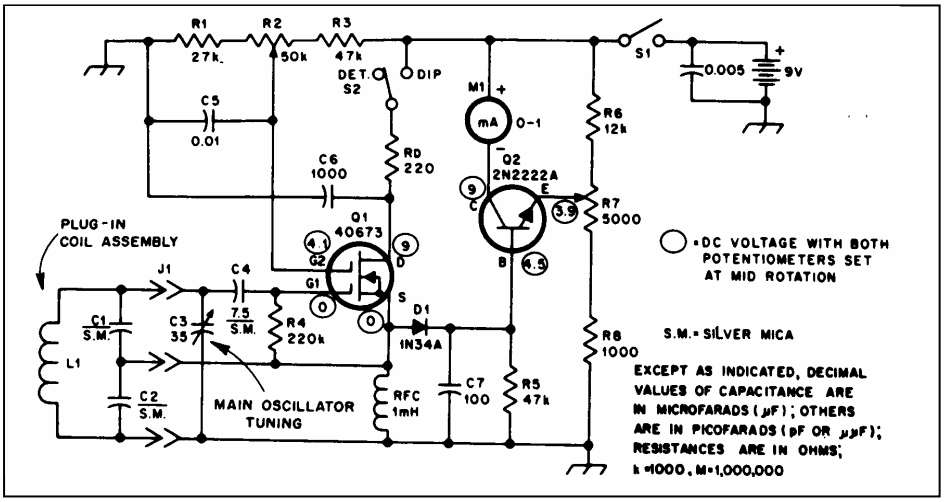


Le schéma de ce grid dip est donné ci-dessous.

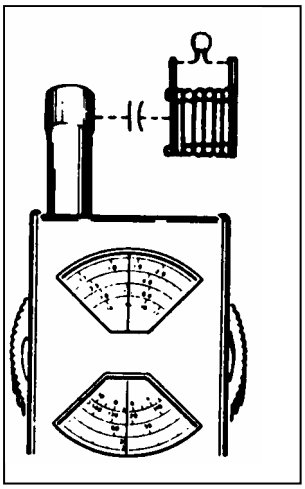


Mais les dip-meters à tubes ont laissés la place aux montages à transistor FET tel que représenté à la figure ci-contre.

Pratiquement un dip-meter se compose d'un boîtier facilement manipulable, d'un cadran gradué en fréquence, d'un petit galvanomètre pour mesure le "dip" et d'une série de bobines interchangeables.



8.8.2. Mesure de fréquence de résonance



Lorsqu'on approche (= "lorsqu'on couple") le circuit d'accord à un circuit sous test et si la fréquence du circuit sous test est la même que celle de l'oscillateur il y aura un "dip". Le grid-dip permet ainsi de mesurer (approximativement) la fréquence de résonance d'un circuit LC .Nous savons que lorsque deux circuits sont couplés ils s'influencent mutuellement, il est donc important dans une mesure au grid-dip de diminuer le couplage jusqu'au point où le dip est encore visible, sans être trop marqué. En fait on peut distinguer deux dips, un en montant de fréquence, l'autre en descendant, on prendra comme valeur vraie, la valeur moyenne de ces deux valeurs.

8.8.3. Mesure d'une self ou d'une capacité

On peut aussi utiliser un grid-dip pour mesure une self ou un condensateur. Si on veut mesure des selfs on utilisera un condensateur de précision, on gardera par exemple un condensateur de précision de 10 pF pour les selfs de faible valeur et un condensateur de 100 pF pour les selfs plus importantes. A partir de la fréquence de résonance on peut donc déterminer la valeur de la self

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,C}} \qquad \text{d'où} \quad L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$$

si on prend un condensateur de précision de 10 pF alors $\mathbf{L_{(\mu H)} = 2533 / f^2_{(MHz)}}$
100 pf alors $\mathbf{L_{(\mu H)} = 253{,}3 / f^2_{(MHz)}}$

8.4. Mesure de la capacité parasite d'une self

La capacité parasite d'une bobine C_P peut introduire une erreur dans l'estimation de la valeur de la self . Il est toutefois possible de faire deux mesures, avec deux condensateurs différents (par exemple C et k C) et d'en déduire la valeur réelle de la self et la valeur de la capacité parasite C_P . Le facteur k pourrait par exemple valoir 2.

Avec le condensateur C on trouve une fréquence de résonance telle que :

$$f_1' = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,(C + C_P)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1'\,C}}$$

et avec le condensateur k C on trouve une fréquence de résonance telle que :

$$f_2' = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,(k\,C + C_P)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2'\,kC}}$$

L_1 et L_2 sont les "pseudo" valeurs de la self que l'on peut calculer.

Des deux équations ci-dessus, on déduit que

$L\,C_P + L\,C = L_1\,C$ [ ] et $L\,C_P + L\,k\,C = L_2\,k\,C$ [ ]

en substituant $L\,C_P$ de l'une équation dans l'autre, il vient

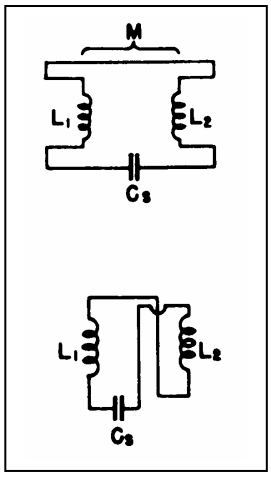
$$L = \frac{L_2\,k - L_1}{k - 1} \quad [\ ]$$

en divisant les égalités ci-dessus l'une par l'autre, il vient

$$C_P = \frac{(L_1 - L_2)\,k\,C}{L_2\,k - L_1} \quad [\ ]$$

La capacité C_P est habituellement très faible, si L_1 et L_2 sont les mêmes, on en déduit immédiatement que la capacité parasite est négligeable. Mais pour faire une mesure précise on ne peut pas se contenter de la lecture sur le cadran du grid-dip, il faut aussi utiliser un fréquencemètre digital (faiblement couplé) qui indiquera la fréquence exacte.

8.5. Mesure de l'inductance mutuelle



Il suffit de faire le montage permettant d'avoir soit les 2 selfs couplées ensemble, de mesurer la fréquence de résonance f_a puis d'inverser le sens d'une des bobines et de mesurer f_b .

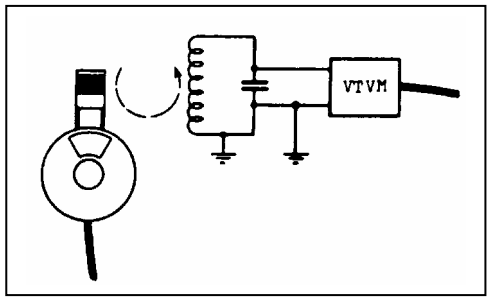
On mesure peut en déduire L_a et L_b tel que :

$$L_a = \frac{1}{4\pi^2\,f_a^2\,C} \quad \text{et} \quad L_b = \frac{1}{4\pi^2\,f_b^2\,C}$$

puis le coefficient d'inductance mutuelle M et le coefficient de couplage :

$$M = \frac{L_a - L_b}{4} \quad \text{et} \quad k = \frac{M}{\sqrt{L_a\,L_b}}$$

8.6. Mesure du coefficient de surtension



Il suffit de mesurer avec un voltmètre à tube (VTVM Vacum Tube Volt Meter) les deux points dont la valeur est égale à 0,71 x la tension maximum. Ceci donne les fréquences f_a et f_b , donc la bande passante Δf. On peut alors calculer $Q = f_0 / \Delta f$.

A cause de sa capacité propre, le VTVM introduit une certaine erreur. Pour réduire cette influence on pourrait utiliser deux condensateurs en série , le condensateur sur lequel on mesure aura une valeur 10 x supérieure à l'autre condensateur.

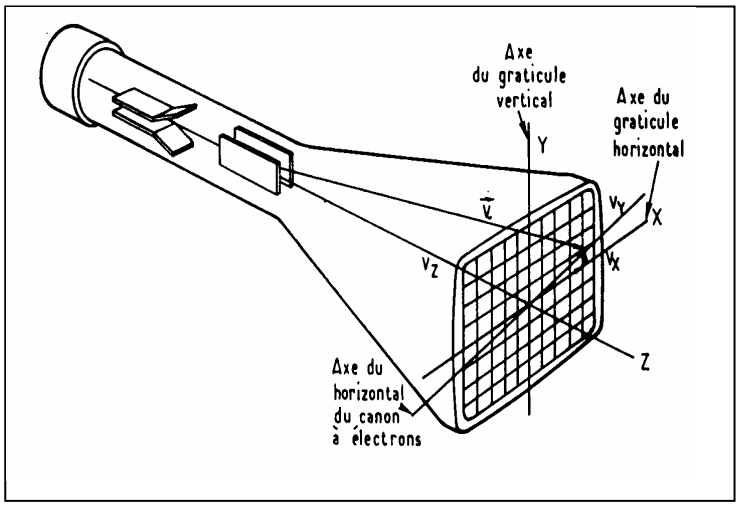
8.7. Mesure du coefficient de vélocité d'un câble

Un grid-dip peut aussi servir pour mesure le facteur de vélocité d'un câble coaxial. Dans ce cas il faut aussi utiliser un fréquencemètre digital de façon à obtenir la meilleure précision.

1. on prend un morceau du câble (n'importe quelle longueur entre 1 et 4 m convient très bien) dont on veut mesure le coefficient de vélocité,
2. on court-circuite une des extrémités,
3. on prépare trois petites bobines de couplages, la première avec 1 spire, la deuxième avec 2 spires et la troisième avec 3 spires. Ces bobines seront faites avec du fil de Cu émaillé de 0,7 mm et auront par exemple un diamètre de 6 mm.
4. on soude la première bobine et on mesure la fréquence du dip,
5. on fait de même avec les deux autres bobines,
6. on trace un graphique et par interpolation on déduit la fréquence de résonance avec "0" spire ("zéro spire")! Ceci donne la fréquence de résonance du morceau de câble qui résonne en $\lambda/2$.
7. soit f est la fréquence de résonance (avec 0 spire), il y correspond une longueur d'onde de λ
8. il ne reste qu'a calculer le facteur de vélocité $v = 2 l / \lambda$.

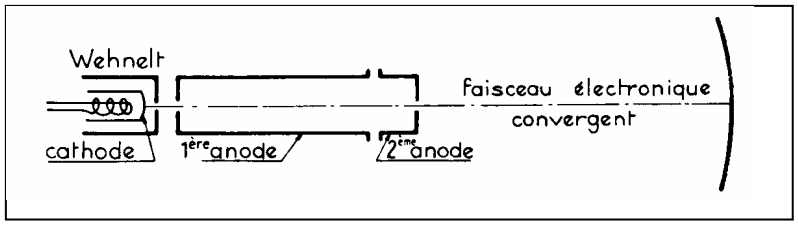
8.9. L'oscilloscope

8.9.1. Généralités



L'oscilloscope plus souvent appelé "oscilllo", est avec le multimètre un des appareils les plus utilisés dans le laboratoire ou dans le shack d'un radio amateur.

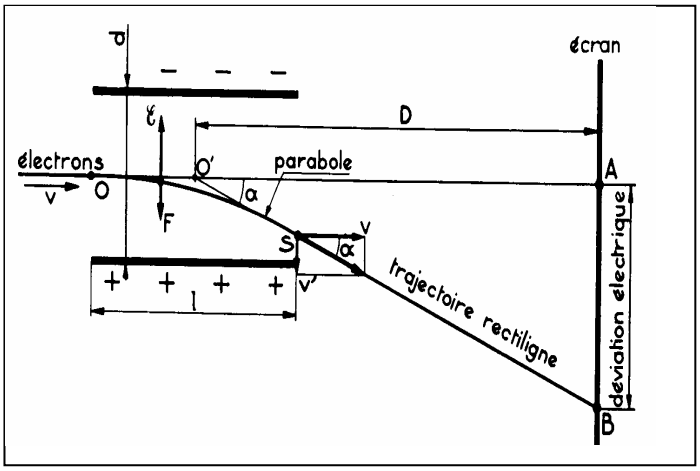
L'oscillo permet de visualiser et de mesurer l'amplitude instantanée d'une tension en la représentant sur l'écran d'un **tube à rayon cathodique** ou **TRC** en abrégé. Ce tube à rayon cathodique est donc l'élément essentiel d'un oscillo, il ressemble à celui utilisé dans les récepteurs de télévision. Toutefois un tube à rayon cathodique pour oscilloscope est contrôlé par une déflexion électrostatique c.-à-d. qu'il y a des plaques de déviation, entre ces plaques de déviation il y a un champ électrique, et celui-ci fait dévier le faisceau d'électrons alors que dans le cas d'un tube à rayon cathodique pour téléviseur la déflexion se fait par des bobines, et c'est le champ magnétique qui dévie les électrons. Autre différence le TRC d'un téléviseur est habituellement un tube couleur tandis que le TRC d'un oscilloscope est monochrome.



Le faisceau d'électron est produit par une cathode chauffée. Sur leur parcours, les électrons rencontrent d'abord une grille qui a pour but de régler l'intensité du courant. Cette électrode se présente soit la forme d'un cylindre fermé, percé par un tout petit trou. Le Whenelt est porté à un potentiel négatif, et joue le même rôle qu'un grille dans une triode.

Viennent ensuite deux électrodes portées à des potentiels positifs (anodes) et qui ont pour but de concentrer le faisceau d'électron et de l'accélérer.

Le faisceau d'électrons vient terminer sa course sur une couche photosensible qui va s'éclairer.



Lorsqu'un faisceau d'électron aborde les plaques de déviation, il sera dévié vers la plaque chargée positivement.

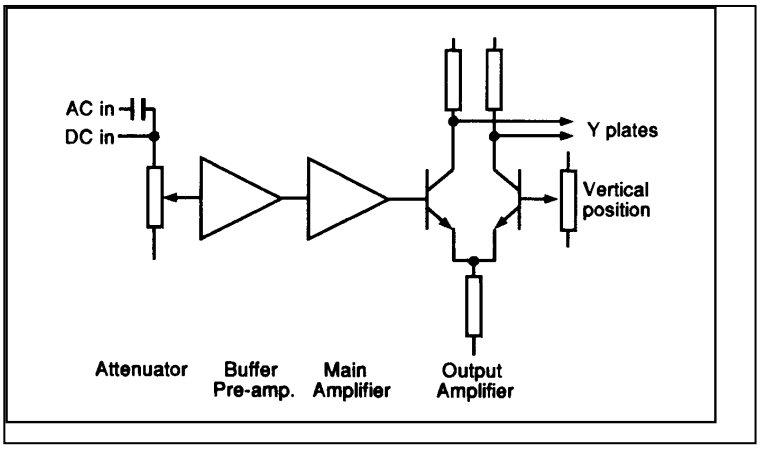
- la déviation est proportionnelle à la tension de déviation
- la déviation est inversement proportionnelle à la tension d'accélération

Avec deux paires de plaques disposées orthogonalement (c.-à-d. à 90°), on peut donc balayer de gauche à droite et de droite à gauche. En absence de potentiel le faisceau d'électron est quelque part au centre de l'écran.

Si on applique une tension sinusoïdale aux plaques de déviation verticale (les plaques qui sont horizontales), le spot va décrire une ligne de haut en bas. Si par ailleurs on applique une dent de scie sur les plaques de déviation horizontales (les plaques qui sont verticales...) le spot va décrire une ligne horizontale.

9.2. L'amplificateur vertical

Un oscilloscope comporte essentiellement un **amplificateur vertical ,** c'est lui qui va amplifier le signal à mesurer. Il est constitué :

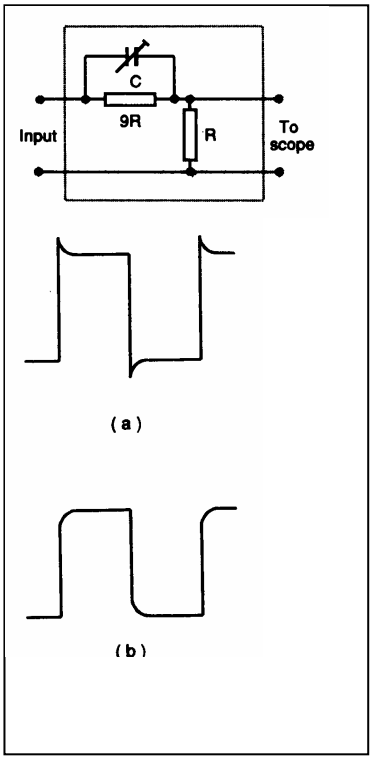


- d'un condensateur de passage qui permettra de bloquer la tension continue. Ce condensateur peut aussi être mis hors service. C'est le bouton AC/DC
- d'un atténuateur à plusieurs position qui permettra d'obtenir les différentes **sensibilités** (V/cm)
- d'un amplificateur tampon qui doit avoir une grande impédance d'entrée, suivit,
- d'un amplificateur principal qui fournira la plus grande partie du gain
- d'un étage de sortie du type amplificateur différentiel, la deuxième moitié de l'ampli différentiel servira à fixer la position verticale. Les deux sorties de cet amplificateurs (collecteurs des transistors) iront aux plaques de déviations.

Cet ampli est caractérisé par son facteur d'amplification maximum, ce qui va déterminer la **sensibilité** de l'oscilloscope.

Cet ampli possède une **impédance d'entrée**, tout comme pour la mesure des tensions, il faut que l'impédance d'entrée de l'oscilloscope soit grande.
L'impédance équivalente d'entrée se compose d'une résistance en parallèle avec une capacité. Les valeurs typique est de 1M Ω en parallèle avec 30 pF. Lorsqu'on mesure des tensions à basse fréquence (typiquement < 500 Hz) cette capacité n'a que peut d'importance.

Pour des fréquences supérieures et si on veut reproduire sans déformation des signaux carrés, on utilise un **probe d'oscilloscope** tel que représenté ci-contre. Dans la tête du probe il y a un circuit RC. On peut régler le condensateur pour avoir un signal parfaitement carré. Il faut contrôler régulièrement le calibrage du probe en le connectant sur la borne prévue et retoucher éventuellement le réglage pour obtenir un "beau carré", sans "overshoot" et sans arrondi.



Un probe diminue la sensibilité. La plupart des probes sont des 10 x, ce qui veut dire que si la sensibilité est par exemple de 0,5 V/cm, sans probe, elle sera de 5 V/cm avec probe.

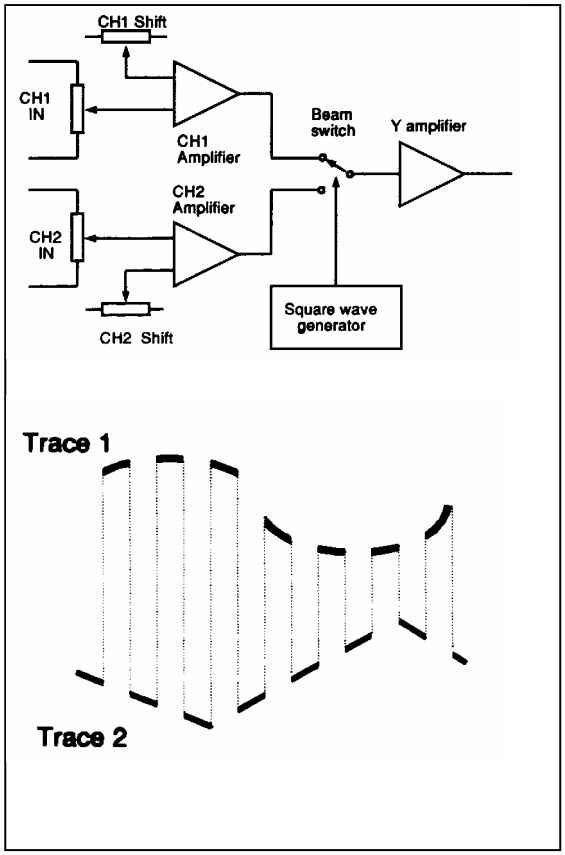
Une autre précaution doit être prise lorsqu'on mesure un **signal vidéo**. Tous les systèmes vidéo (amplificateur, matrices de commutation, distributeur) ont une impédance de 75 Ω. Les câbles sont aussi des câbles 75 Ω par conséquent l'oscilloscope doit aussi présenter une impédance de 75 Ω. On place donc sur l'entrée de l'oscillo une charge "feedthrough" de 75 Ω ou un Té en BNC et une charge de 75 Ω. Si on oublie cette charge, le signal vidéo sera déformé (principalement dans les fréquences élevées) et le niveau mesuré sera 2 x trop grand.

L'amplificateur vertical possède également une **bande passante**. Lorsqu'on dit qu'un oscillo à une bande passante de 20 MHz cela veut dire qu'à 20 MHz il chute de 3 dB. En d'autres termes si on s'attend à voir une trace de 10 cm, elle n'aura que 7 cm ! En d'autres termes, si on veut faire des mesures de haute précision, il faudra une bande passante beaucoup plus grande (disons 10 x) que la fréquence maximum à mesurer.

Dans la plupart des cas il est souhaitable de visualiser l'évolution de deux tensions en même temps. C'est ce qu'on appelle un oscilloscope à deux canaux. On peut utiliser des TRC avec deux faisceaux électroniques, on a donc deux paires de plaques de déviation verticale. Mais ces oscilloscopes sont excessivement cher, et pour dans la plupart des cas on peut utiliser un oscilloscope avec un seul faisceau, et commuter soit sur un signal soit sur l'autre. Bien sûr il faut un deuxième amplificateur vertical.

On distingue deux méthodes de commutation des signaux,
- soit par découpage ou "**chopping mode**"
- soit à l'alternat ou "**alternate mode**"

Chopping-mode

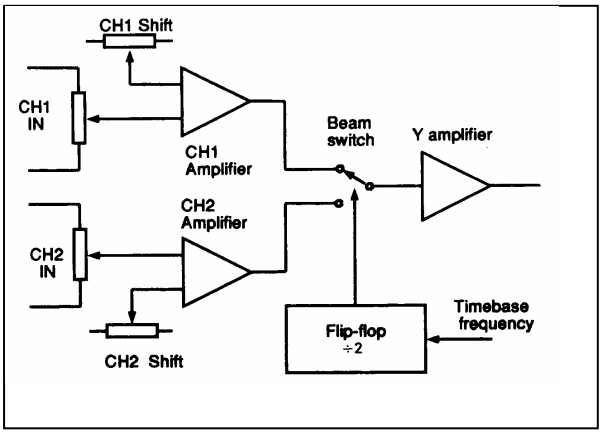


En fait, en commutant, on va représenter un morceau de la 1ere trace, puis un morceau de la 2eme trace, puis à nouveau un morceau de la 1ere trace, et ainsi de suite … L'image ci-dessus est évidement fortement dilatée afin de pouvoir expliquer ce mécanisme.

Le générateur de signaux doit avoir une fréquence beaucoup plus élevée que la fréquence de balayage.

Le chopping-mode est essentiellement utilisé pour des vitesses de balayage lent

Alternate-mode

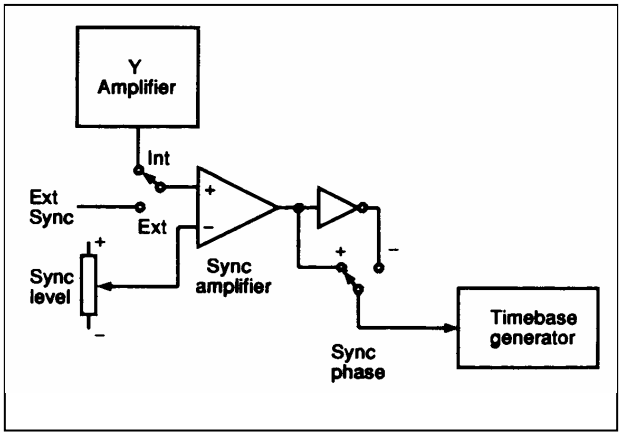


L'alternate mode est commuté par la base de temps.

L'alternate mode est utilisé pour des vitesses de balayage rapide.

8.9.3. La base de temps

L'autre section de l'oscilloscope est la **base de temps**, il s'agit essentiellement d'un générateur de dent de scie.



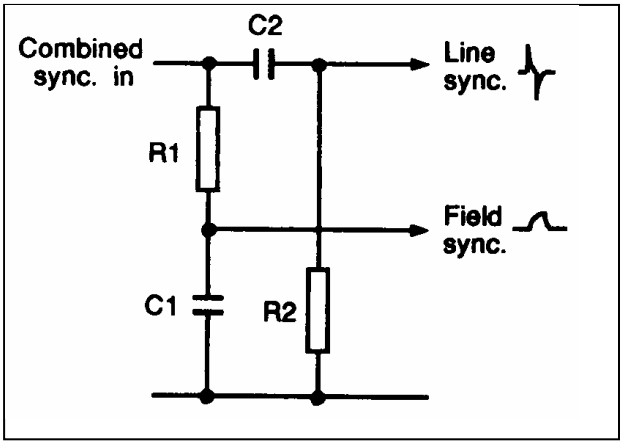
La dent de scie est déclenché par le signal à mesurer soit

- par le signal à mesurer. Si l'oscilloscope possède deux canaux on pourra donc aussi choisir lequel de ces canaux va déclencher le générateur de dent de scie.
- par un signal extérieur.

On pourra aussi déterminer le seuil de déclenchement, de même que le sens de déclenchement (sur le flanc positif ou sur le flanc négatif).

Une des formes de signaux les plus difficile à afficher sur un oscilloscope est un signal TV. La plupart des oscilloscopes possèdent maintenant un circuit qui sépare le signal de synchronisation et un circuit RC permet de choisir la déclenchement

- sur l'impulsion de synchro ligne, ou
- sur l'impulsion de synchro trame



Dans la plupart des signaux vidéo, on trouve aussi des VITS (Video Insertion Test Signals). Chacun de ces VITS permet d'évaluer une caractéristique du signal :

- le 2T/20T (ligne n°) permet de mesurer le gain et la phase différentielle de la sous porteuse scouleur (4,43 MHz).
- la multi-salve (ligne n°) permet de se rendre compte de la bande passante.

Les oscilloscopes évolués, spécialement destinés à la vidéo, permettent aussi de sélectionner une ligne particulière en donnant son numéro. Par conséquent on peut aussi montrer ces VITS.

8.9.4. Les autres fonctions

8.9.4.1. Affichage sur l'écran

La plupart des oscilloscopes affichent maintenant sur l'écran les sensibilités verticales et les vitesses de balayage.

8.9.4.2. Curseurs de mesure

Les oscilloscopes possèdent aussi des lignes (" curseurs") qui permettent de mesurer l'amplitude ou la durée et l'inverse de la durée c.-à-d. la fréquence.

8.9.4.3. Modulation de la lumière par le Whénelt

Dans certaines applications on peut moduler l'intensité du spot par un signal extérieur. Ceci est possible grâce à l'entrée "Z modulation" qui permet d'appliquer une tension extérieure sur le Whénelt.

8.9.5. Les oscilloscopes spéciaux

On distingue aussi plusieurs type de tubes à rayons cathodiques :
- des TRC à mémoire
- des TRC à haute rémanence utilisé pour les signaux lents

8.9.6. L'oscilloscope à LCD

Il existe aussi des oscilloscopes avec écran LCD. La définition va de .....

Ils présentent l'avantage d'être beaucoup plus portables et de fonctionner sur un accu interne.

Les caractéristiques de sensibilité et de bande passante rivalisent avec les oscillo traditionnels.

Ces oscillo ont également toutes les fonctions d'un multimètre et peuvent être utilisé comme tel.

On peut toutefois leur reprocher que "l'image" du signal n'est pas la même que pour un oscillo à tube à rayon cathodique traditionnel ....

8.9.7. L'emploi normal d'un oscillo

Pour utiliser un oscillo, on va généralement toucher différents points du montage avec le probe et on va vérifier si les signaux obtenus sont conformes avec les représentations faites dans le manuel (manuel de dépannage et d'entretien de l'appareil). On peut faire attention à la forme du signal et voir si le signal n'est pas déformé et on peut aussi faire attention à l'amplitude du signal. En absence de manuel, il faudra réfléchir de façon logique : si un étage est fait pour amplifier et qu'il n'amplifie pas c'est qu'il y a un problème!

Lors d'un dépannage on doit toujours procéder de façon méthodique : Si, par exemple, on doit dépanner un émetteur SSB, on va vérifier s'il y a bien un signal aux bornes du microphone. Ce signal est très petit (de l'ordre de quelques dizaines de millivolts). La sensibilité de l'ampli vertical sera de quelques 5 ou 10 mV/div et la base de temps sera sur 10 ms/div environ. Puis on va voir si ce signal est correctement amplifié. On doit donc voir la même forme, mais avec des amplitudes croissantes.

Si tout est bon on va arriver à l'étage de modulation qui recevra donc d'une part le signal audio et d'autre part la sous porteuse. La sous porteuse sera à une fréquence nettement plus élevée, donc à cet endroit il faudra réajuster la base de temps.

Si tout est bon on arrivera à l'étage de changement de fréquence puis à l'amplificateur final.

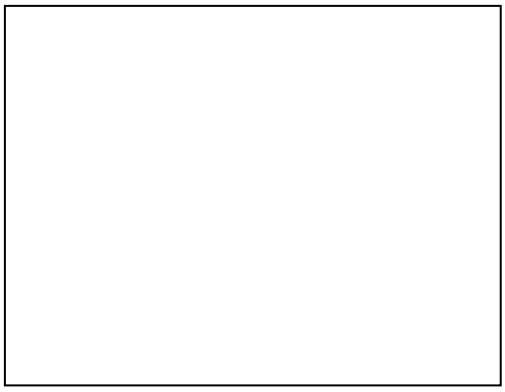
Lorsqu'on suit un signal "à la trace", le long d'un montage, on utilise généralement le probe de l'oscillo.

Toutefois si on mesure **à la sortie d'un émetteur** on devra charger cet émetteur avec une antenne fictive ou "dummy load", qui est généralement une résistance de 50 Ω, non inductive et non capacitive pouvant dissiper au moins la puissance de l'émetteur.

8.9.8. Quelques mesures typiques

On peut utiliser un oscilloscope pour vérifier si les signaux d'un montage, pour faire un dépannage, pour localiser une distorsion, … mais on aussi faire des

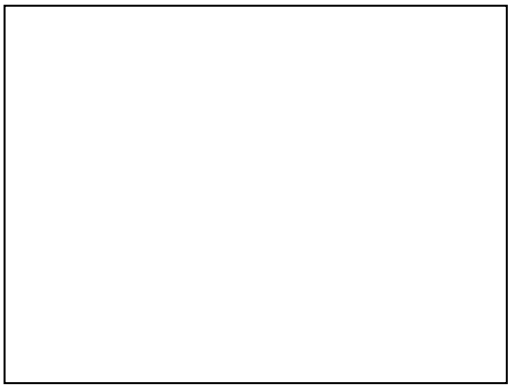
8.9.8.1. Mesure de puissance PEP



La puissance PEP est la puissance efficace dans la pointe de modulation. Donc dans le signal SSB, on va repérer l'amplitude maxiamale, puis on va calculer la puissance efficace dans cette crête.

La figure ci-contre représente le signal de sortie d'un émetteur SSB. Supposons que nous mesurions ainsi une tension de 200 V crête à crête dans la crête de modulation et sur une antenne fictive (charge de 50 oms). Dans ce cas La valeur efficace de la tension sera $U_{eff} = U_{crête\text{-}à\text{-}crête} / 2 \times \sqrt{2} = 200 / 2{,}83... = 70{,}7$ V_{eff}.Et la puissance PEP vaudra : $P = U^2 / R = 70{,}7^2 / 50 = 5000 / 50 = 100$ Watts

8.9.8.2. Mesures de fréquence et de phase

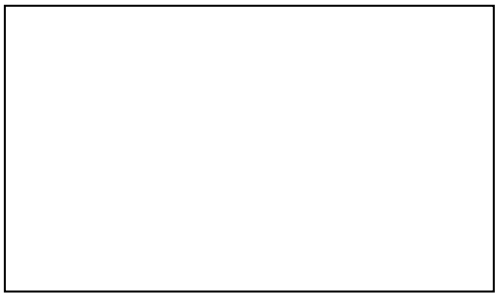


Pour cette mesure on applique un des signaux sur les plaques verticales, l'autres sur les plaques horizontales, on obtient ainsi des formes appelées figures de Lissajous. Si les rapports entre les deux fréquences est constant et est un nombre entier, la figure est stable et on a la relation

$$\frac{f_H}{f_V} = \frac{n_H}{n_V}$$

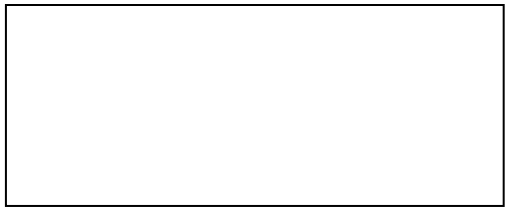
f_H est la fréquence sur les plaques horizontales
n_H est le nombre de boucle le long de l'axe horizontal

Cette méthode de mesure de fréquences est peu pratique et on lui préfère l'usage du fréquencemètre, mais les figures de Lissajous sont "tellement belles" à voir qu'on prépare un tel montage lors des présentations de matériel, et vous ne verrez donc ces figure de Lissajous que pour "faire beau" ...

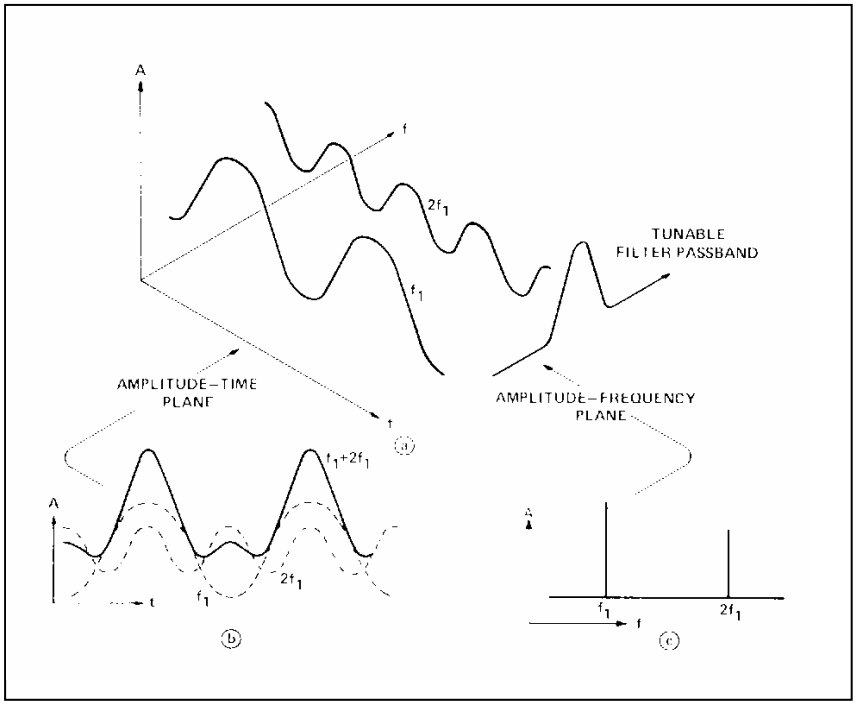


Si on applique deux signaux de même fréquence mais avec un décalage angulaire, on pourra calculer

Un montage permettant d'avoir facilement deux tensions déphasées variables est représenté ci-contre.



8.10. L'analyseur de spectre



L'analyseur de spectre, encore appelé "spectrum analyser" ou simplement "spectrum", est fort comparable à l'oscilloscope, il permet aussi la visualisation d'un signal. Mais alors qu'un oscilloscope permet la représentation dans le domaine temporel c.-à-d. qu'il représente l'amplitude du signal en fonction du temps, l'analyseur de spectre permet la représentation dans le **domaine des fréquences** c.-à-d. qu'il représente l'amplitude du signal en fonction de la fréquence.

La figure (E-4-1).... représente un cas relativement simple d'un signal sinusoïdal et de son harmonique 2.

On y voit une représentation dans un système à 3 dimensions (amplitude, fréquence, temps) et les représentations sur un oscilloscope (amplitude-temps) et sur un spectrum (amplitude-fréquence). Malgré que les deux "images" représentent le même phénomène, les renseignements sont présentés d'une façon différente, chaque représentation à ses avantages et ses inconvénients.

L'analyseur de spectre est particulièrement intéressant dans le cas des amplificateurs, des oscillateurs, des détecteurs et des modulateurs

Le principe d'un tel analyseur de spectre repose sur le principe d'un récepteur dont on fait balayer la fréquence ("swept superheterodyne") comme indiqué à la figure (E-4-2). Cet analyseur de spectre est donc constitué d'un récepteur à bande étroite dont on fait varier la fréquence d'accord d'une façon électronique. L'accord se fait en appliquent une dent de scie à un VCO. La même dent de scie est appliquée aux plaques de déviation horizontales d'un tube à rayon cathodiques. La tension de sortie du récepteur est redressée et appliquée aux plaques de déviation verticale du tube à rayon cathodique. Il en résulte une représentation amplitude-fréquence.

schéma bloc spectrum

L'axe horizontal est donc étalonné en fréquences, et pour ce faire on dispose

- d'une commande qui permet de choisir la fréquence centrale ("**tuning**"),

- d'une commande qui permet de définir une certaine largeur de balayage de fréquence ("**frequency span**")
- et finalement il faut aussi définir une certaine "finesse" de l'analyse, en fait c'est la bande passante du récepteur qui va définir cette finesse ("**resolution band-width** ")

Toutefois, il existe une autre variante où on fixe la fréquence de départ et la fréquence finale.

L'axe vertical est gradué en amplitude, ou plus précisément en puissance généralement exprimée en dBm.

- il faut donc connaître le niveau de référence ("**reference level**"). C'est au fait le niveau de la ligne horizontale en haut de l'écran. Pour modifier ce niveau de référence, il suffit d'agir sur un atténuateur à l'entrée de l'analyseur ("**input attenuator**").
- il faut aussi définir une échelle, celle-ci est habituellement logarithmique avec des calibres de 10, 5 , 2 ou 1 dB par division, mais il y a aussi souvent une échelle linéaire utilisée principalement lors de l'analyse des signaux

La puissance maximum que l'on peut appliquer à l'entrée d'un spectrum est souvent de l'ordre de 30 dBm (1 Watt). Par conséquent lorsqu'on fera des mesures sur un émetteur de 100 Watts, il faudra utiliser un atténuateur capable de supporter 100 W ou plus (en d'autres termes "capable de dégager une chaleur équivalente à 100 Watts) et dont l'atténuation sera de 20 dB ou plus (10 log 100/1).

Une caractéristique très importante d'un spectum est sa dynamique, c.-à-d. la différence entre le plus fort signal et le plus faible signal que l'on peut distinguer sur l'écran. Cette valeur est de l'ordre de .... dB à ..... dB pour les meilleurs spectrum.

Certains spectrum sont équipés d'un générateur de poursuite ("tracking generator"). La fréquence de ce générateur varie et vaut exactement à la fréquence analysée par le spectrum. Ceci est particulièrement intéressant pour les mesures sur un amplificateur ou pour régler un filtre.

Que peut-on mesurer avec un analyseur de spectre ?

- mesure sur les amplificateurs: une des mesures les plus classiques consiste à appliquer à un amplificateur les fréquence f_1 et f_2 , et de mesurer toutes les composantes $n f_1 \pm m f_2$.
- mesures sur les mélangeurs : on peut mesurer
- la perte de conversion
- l'isolation de l'oscillateur local
- les produits d'intermodulations
- détermination du taux de modulation en AM
- détermination de l'excursion en fréquence (méthode de Bessel)
- mesure d'interférence électromagnétiques : on utilise pour ce faire une antenne de mesure à large bande
- mesures de la réponse en fréquence de filtres

8.11. Mesure des modulations AM et FM

8.11.1. Mesure de la profondeur de modulation en AM

8.11.2. Mesure de l'indice de modulation en FM

8.12. Dépannage

"Mesures" rime avec "dépannage". Donner un cours de dépannage sort du cadre du programme HAREC, toutefois nous pensons utiles vous donner quelque éléments d'information sur le dépannage

8.12.1. Logique de dépannage

Tout d'abord il faut raisonner de façon logique dans tous les cas de dépannages. Si nous prenons comme exemple les transceivers actuels, ils utilisent près d'une centaine de transistors, une cinquantaines de circuits intégrés, dont quelques-uns sont spécialement programmés, il est donc impossible de passer tout en revue, il faut "réfléchir" et jouer d'astuces, mais tout ceci ne peut venir qu'avec le temps et l' "expérience".

Si vous allumer et que rien ne se passe, aller voir du côté de l'alimentation, du fusible, des connections d'alimentations.

Est-ce que le problème se manifeste à l'émission ou à la réception ?

8.12.2. Mauvais contacts

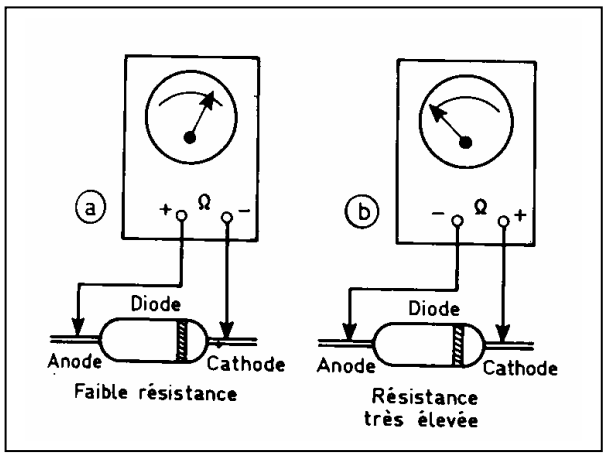
La première source d'ennuis sont les mauvais contacts

8.12.3. Alimentations

Ensuite viennent les pannes des alimentations

8.12.4. Vérification des diodes

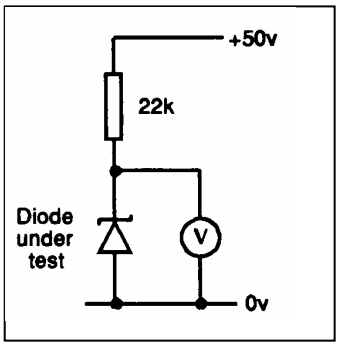
On peut vérifier les diodes et les transistors à l'aide d'un ohmmètre. Mais il est nécessaire de repérer au préalable les polarités. Pour ce faire on utilise une diode dont on est certain et si la résistance est faible, alors le "-" de l'ohmmètre correspond à la cathode. On marque alors "-" ou "k" ou "n" sur la borne correspondant à la cathode, à fortiori le "+", l' "a" ou le "p" correspond à l'autre borne.



Si on vérifie une diode et que dans un sens elle a une faible résistance et dans l'autre une forte résistance, alors il y a beaucoup de chance pour que la diode soit bonne. Si la résistance est pratiquement identique et très faible, alors la diode est en court-circuit. Si la résistance est très grande dans les deux sens, alors la diode est coupée.

Dans les multimètres numérique on limite souvent le courant à 1 mA, et on mesure en fait la tension. par conséquent la lecture la pus faible correspond à la chute de tension dans le sens direct.

Une diode zéner se mesure plus difficilement, il faut une source de tension variable supérieure à la tension zéner. Si on prend une alimentation de 50 V, on pourra donc mesurer toutes les diodes zéners jusqu'à 50 V. On place alors une résistance de limitation de courant en série. Si, comme sur le schéma ci-contre on prend une résistance de 22 kΩ, le courant sera limité à 2 mA environ. A l'aide d'un voltmètre on peut alors contrôler la tension de la zéner.

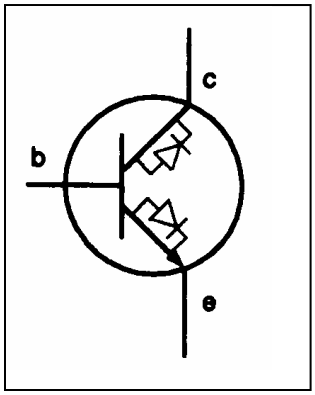


8.12.5. Vérification des transistors

Lorsque le transistor est encore monté dans son circuit, on peut mesurer les tensions sur sa base, son émetteur et son collecteur et vérifier que ves valeurs sont en concordances avec le manuel d'entretien ou le schéma fournit par le constructeur.

On peut aussi vérifier le transistor en le considérant comme constitué de deux jonctions. On mesure donc les deux jonctions comme si c'étaient deux diodes.

On peut aussi se contenter de vérifier que la tension entre base et émetteur est comprise entre 0,2 et 0,6 V



8.12.6. Avec le temps va tout s'en va et … les condensateurs électrolytiques vieillissent

Dans un équipement qui date de quelques temps (5 ans ou plus), ce sont en général les condensateurs électrolytiques qui "lâchent" le plus souvent.